

КАНАТНЫЙ ТРАНСПОРТ НОВОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ НА ЩЕБЕНОЧНЫХ КАРЬЕРАХ

А.В. Денищенко, О.О. Юрченко, Национальный горный университет, Украина

Проведен анализ конструкций и опыта эксплуатации современных отечественных и зарубежных канатных напочвенных дорог. Предложена методология их эксплуатационного расчета для условий щебеночных карьеров, позволяющая осуществлять выбор из серийных установок в конкретных горнотехнических условиях.

Введение. Имеется большой опыт эксплуатации канатных напочвенных дорог (далее ДКН) при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом, однако до нынешнего времени эти установки на открытых горных работах не применялись. По своим эксплуатационным качествам они надёжны, соответствуют мировому уровню и являются перспективными транспортными средствами для щебеночных карьеров. При этом отсутствуют специальные методики расчетов параметров и выбора установок из серийных машин, позволяющие учесть особенности их применения на открытых горных работах.

Постановка задач. Целью настоящей работы является разработка методологии эксплуатационного расчета канатных напочвенных дорог для условий щебеночных карьеров.

Изложение основного материала исследований. Проведен анализ условий эксплуатации, разработана методика, которая распространяется на транспортные комплексы щебеночных карьеров и предназначена для выбора канатных напочвенных дорог (ДКН) из серийных установок.

В состав канатных напочвенных дорог входит приводная станция со шкивом трения, замкнутый тяговый канат, одноколейный или двухколейный рельсовый путь, состав вагонеток, буксировочная тележка с запасом каната, поддерживающие устройства, концевой блок, натяжное устройство (рис. 1).

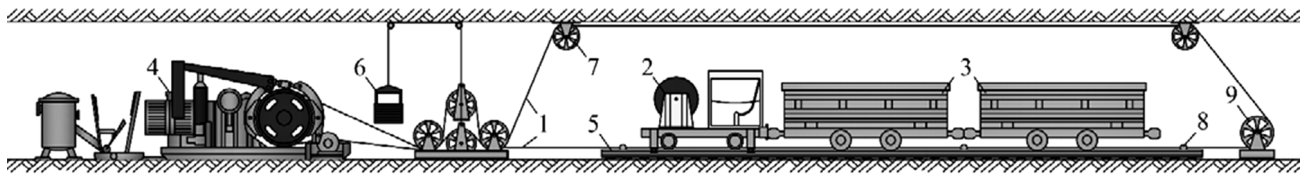


Рис. 1. Канатная напочвенная дорога: 1 – тяговый канат; 2 – буксировочная тележка; 3 – грузовые вагонетки; 4 – привод; 5 – рельсовый путь; 6 – натяжные грузы; 7 – направляющий блок; 8 – поддерживающее устройство; 9 – концевой блок

Среди отечественных и зарубежных канатных напочвенных дорог следует выделить наиболее производительные установки:

- ДКНУ4, ДКНТ-2-250, ДКНТ-2-315 (производства ОАО «Луганскгормаш», Украина);
- КРД1-75М, КРД1-100Г (ООО «Завод Гидромаш», Россия);
- Gauge 650, Gauge 900 («Becker Mining Systems», Германия);
- FAMUR с одиночным или сдвоенным приводом НК-100 («FAMUR», Польша);
- SQ-120/132P («Shangdong Shiji Mine Electromechanical», Китай).

Теоретическая производительность канатных напочвенных дорог Q_t в карьере должна быть не ниже расчетного грузопотока карьера Q_p с учетом его неравномерности.

Расчетный (максимальный) часовой грузопоток карьера

$$Q_p = Q_{\max} = \frac{Q_{\text{год}} K}{t_{\text{год}} K_m}, \text{ т/ч}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{год}}$ – годовой грузопоток карьера, т/год;

$t_{год}$ – годовой фонд рабочего времени, час/год;

K – коэффициент неравномерности грузопотока, согласно [1] принимается равным 1,1;

K_m – коэффициент машинного времени, учитывающий потери времени из-за отказов оборудования и организационных причин, принимается согласно [1].

При расчете канатных напочвенных дорог, в первую очередь, необходимо ориентироваться на серийно выпускаемые ДКН. Для того, чтобы исключить необходимость расчета теоретической производительности всех этих установок для дальнейшего проверочного расчета предварительно выбирается одна из ДКН по максимальной теоретической производительности.

Расчет максимальной теоретической производительности ДКН выполняется по формуле

$$Q_{m.max} = \frac{6 \cdot 10^4 m_{c.max}}{T}, \text{ т/ч}, \quad (2)$$

где $m_{c.max}$ – максимальная грузоподъемность состава, кг;

T – время рейса состава канатной напочвенной дороги, мин;

Максимальная грузоподъемность состава $m_{c.max}$ для конкретных горнотехнических условий ограничена тяговым усилием привода F_{np} канатной напочвенной дороги.

При работе привода в тяговом режиме тяговое усилие F_{np} рассчитывается по формуле [2]

$$F_{np} = \frac{F_{н-с}}{\eta}, \text{ Н} \quad \text{при} \quad F_{н-с} > 0 \quad (3)$$

где $F_{н-с}$ – тяговое усилие приводного шкива, Н;

η – КПД приводной станции.

При работе в тормозном режиме тяговое усилие привода F_{np} определяется по формуле

$$F_{np} = F_{н-с} \eta, \text{ Н} \quad \text{при} \quad F_{н-с} < 0 \quad (4)$$

Расчет тягового усилия приводного шкива выполняется по формуле

$$F_{н-с} = F_n - F_c, \text{ Н} \quad (5)$$

где F_n – усилие натяжения набегающей ветви каната на приводной шкив трения, Н;

F_c – усилие натяжения сбегающей ветви каната, Н.

Натяжение в набегающей ветви каната при постоянном угле α рассчитывается по формуле [2]

$$F_n = F_c + F_n + F_{cn}, \text{ Н} \quad (6)$$

где F_n, F_{cn} – сила тяги для движения ветви каната с составом, соответственно, на подъеме и спуске, Н;

F_c – натяжение каната по условию сохранения сцепления между канатом и приводным шкивом, Н;

Натяжение каната в сбегающей ветви

$$F_c = \frac{m_e g}{2}, \text{ Н} \quad (7)$$

где m_e – масса груза натяжного устройства, кг;

Сила тяги для движения ветви каната с составом на подъеме при постоянном угле наклона трассы α согласно [3] рассчитывается по формуле

$$F_n = g(z(m_o + m_{cp}) + m_{\bar{o}} + n_m m_m)(w \cos \alpha + \sin \alpha) + g \rho_k L(w_k \cos \alpha + \sin \alpha), \text{ Н} \quad (8)$$

где m_o – масса порожней вагонетки, кг;

$m_{\bar{o}}$ – масса буксировочной тележки, кг;

m_{cp} – масса груза в вагонетке, кг;

n_m – количество тормозных тележек, шт;

m_m – масса тормозной тележки, кг;

ρ_k – масса каната, кг/м;

w – коэффициент сопротивления движению состава;

w_k – коэффициент сопротивления движению каната;

L – расстояние откатки в один конец, м;

ρ_k – линейная масса каната, кг/м.

Сила тяги для движения ветви каната с составом на спуске при постоянном угле α согласно [3] рассчитывается по формуле

$$F_{cn} = g(z(m_o + m_{cp}) + m_{\bar{o}} + n_m m_m)(w \cos \alpha - \sin \alpha) + g \rho_k L(w_k \cos \alpha - \sin \alpha), \text{ Н} \quad (9)$$

При использовании одной рабочей ветви рейс проходит в два этапа: подъем груженого состава канатом вверх и спуск холостой ветви каната; спуск порожнего состава канатом вниз и подъем холостой ветви каната вверх.

Тяговое усилие привода $F_{np.n}$ для подъема состава вверх рассчитывается по формуле

$$F_{np.n} = (g(zm_o + zm_{cp} + m_{\bar{o}} + n_m m_m)(w \cos \alpha + \sin \alpha) + g \rho_k L(w_k \cos \alpha + \sin \alpha) + g \rho_k L(w_k \cos \alpha - \sin \alpha)) \eta^{-1}, \text{ Н} \quad (10)$$

Тяговое усилие привода $F_{np.cn}$ при спуске состава вниз рассчитывается по формуле

$$F_{np.cn} = (g(zm_o + m_{\bar{o}} + n_m m_m)(w \cos \alpha - \sin \alpha) + g \rho_k L(w_k \cos \alpha - \sin \alpha) + g \rho_k L(w_k \cos \alpha + \sin \alpha)) \eta^{\pm 1}, \text{ Н} \quad (11)$$

Максимальная допустимая грузоподъемность состава $m_{c.max}$ рассчитывается для условий, когда состав размещается на участке трассы с наибольшим продольным уклоном α_{max} . В этом случае необходимо наибольшее тяговое усилие привода $F_{np.max}$, которое должно соответствовать номинальному тяговому усилию привода $F_{np.ном}$ серийно выпускаемой ДКН.

С учетом того, что в карьере подъем груженого и спуск порожнего состава осуществляется по одной и той же трассе, будет выполняться условие $F_{np.n} > F_{np.cn}$, т.е. наибольшие тяговые усилия привода $F_{np.max}$ имеют место при работе привода в тяговом режиме.

Максимальное тяговое усилие привода $F_{np.max}$ для перемещения вверх состава максимальной грузоподъемности с переменными углами $\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_n$, рассчитывается по формуле

$$F_{np.max} = (g(k_m m_{c.max} + m_{c.max} + m_{\bar{o}} + n_m m_m)(w \cos \alpha_{max} + \sin \alpha_{max}) + \sum_{i=1}^n (g \rho_k L_i (w_k \cos \alpha_i + \sin \alpha_i) + g \rho_k L_i (w_k \cos \alpha_i - \sin \alpha_i))) \eta^{-1}, \text{ Н} \quad (12)$$

где k_m – коэффициент тары вагонов.

Из выражения (12) следует, что при $F_{np.max}=F_{np.ном}$ допустимая по тяговому усилию грузоподъемность состава $m_{c.max}$ рассчитывается

$$m_{c.max} = \frac{F_{np.ном} \eta - \sum_{i=1}^n (2g\rho_{\kappa} L_i w_{\kappa} \cos \alpha_i) - (m_{\delta} + n_m m_m)}{g(w \cos \alpha_{max} + \sin \alpha_{max})} \cdot \frac{1}{1 + k_m}, \text{ кг} \quad (13)$$

Для предварительного выбора установки из серийных ДКН используются зависимости (рис. 2) максимальной теоретической производительности от расстояния транспортирования, по которым выбирается канатная напочвенная дорога, обеспечивающая необходимую производительность для заданного расстояния транспортирования.

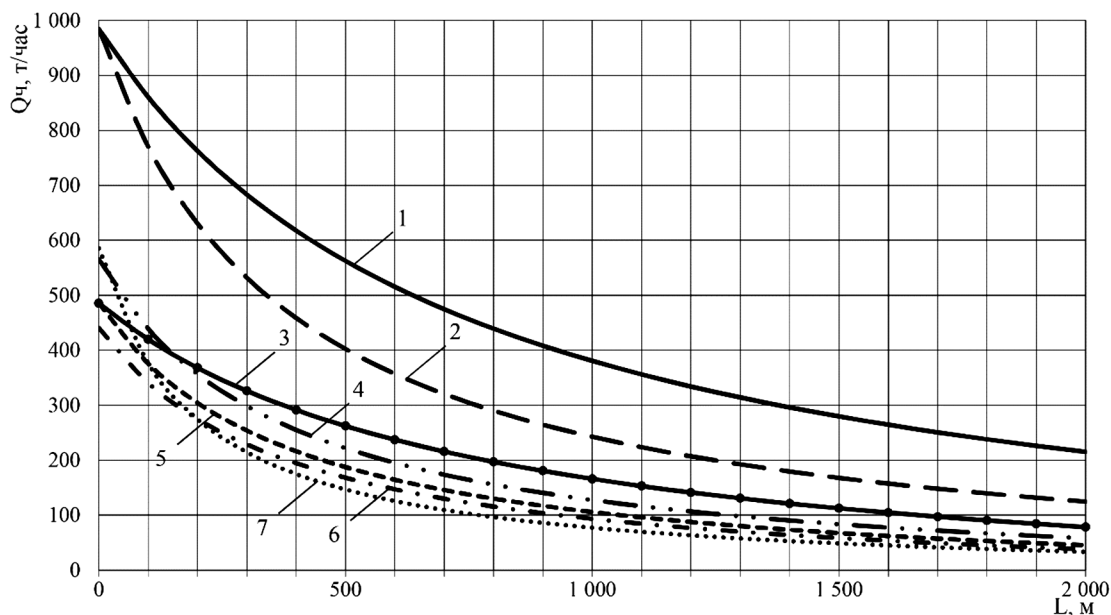


Рис 2. Зависимость производительности наиболее мощных серийно выпускаемых от расстояния транспортирования: 1 – Gauge 900; 2 – FAMUR (сдвоенный привод НК-100); 3 – Gauge 650; 4 – ДКНТ-2-315; 5 – КРД1-100Г, ДКНТ-2-250, FAMUR (одиночный привод НК-100); 6 – ДКНУ4, КРД1-75М; 7 – SQ-120/132Р

При построении зависимостей использованы следующие характерные исходные данные:

- коэффициент тары вагонов $K_m = 0,5$;
- масса буксировочной тележки $m_{\delta} = 2500$ кг;
- сопротивление движению состава $w = 0,03$;
- сопротивление движению каната $w_{\kappa} = 0,35$;
- КПД привода $\eta = 0,9$;
- время погрузки $t_n = 3$ мин;
- время разгрузки $t_p = 3$ мин;
- время ожидания в пункте погрузки и разгрузки $t_{ож} = 1$ мин;
- схема трассы с длиной L (рис. 3) для расчета максимальной теоретической производительности ДКН состоит из 3-х участков длиной $L_1=50$ м, $L_3=200$ м, $L_2=L-L_1-L_3$ с углами наклона трассы $\alpha_1=0^\circ$, $\alpha_2=\alpha_{max}=5^\circ$ (80‰), $\alpha_3=0^\circ$ соответственно;
- тяговое усилие привода $F_{np.ном}$ и максимальная скорости движения V_{max} соответствуют техническим характеристикам рассматриваемых установок.

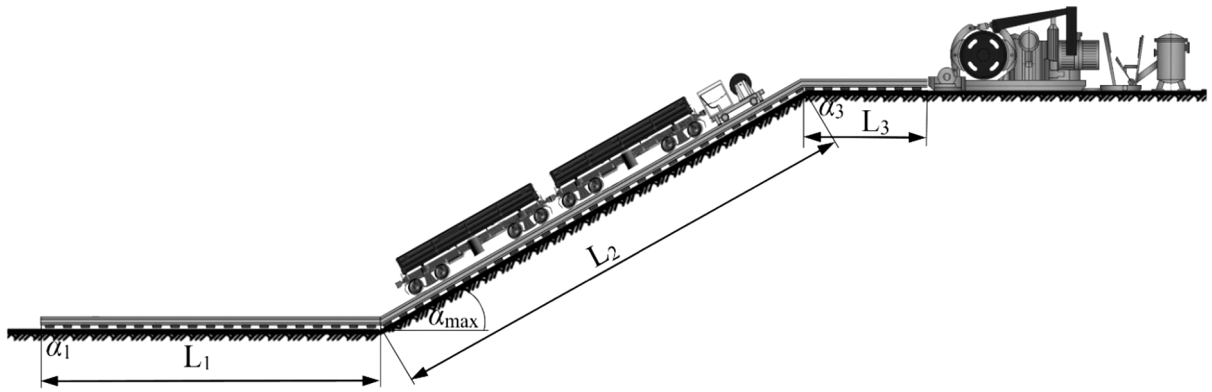


Рис 3. Схема трассы для расчета максимальной теоретической производительности ДКН

При анализе графиков возможны следующие случаи:

1) в случае, если производительность серийной канатной напочвенной дороги *достаточна*, ее проверяют на возможность обеспечения расчетного грузопотока карьера, т.е. выполняют проверочный расчет;

2) если производительность серийной установки *недостаточна*, необходимо выполнить расчет параметров для проектирования новой установки.

Для конкретных горнотехнических условий выполняется расчет теоретической производительности выбранной по зависимостям (рис. 2) ДКН

$$Q_m = \frac{6 \cdot 10^4 m_{с.ф}}{T}, \text{ т/ч}, \quad (14)$$

где $m_{с.ф}$ – фактическая грузоподъемность состава, кг;

T – время рейса состава канатной напочвенной дороги, мин;

Фактическая грузоподъемность состава канатной напочвенной дороги определяется по формуле

$$m_{с.ф} = z m_{гр.ф}, \text{ кг}, \quad (15)$$

де $m_{гр.ф}$ – фактическая грузоподъемность вагона, кг;

z – количество вагонов в составе, шт.

Согласно [4] фактическая грузоподъемность вагона рассчитывается по формуле

$$m_{гр.ф} = \frac{n_k V_k K_{н.к} \rho_{ц}}{K_{р.к}}, \text{ кг}, \quad (16)$$

где n_k – количество ковшей экскаватора (колесного погрузчика), шт;

V_k – объем ковша экскаватора (колесного погрузчика), м³;

$K_{н.к}$ – коэффициент наполнения ковша, принимается согласно [1, 5];

$\rho_{ц}$ – плотность горной породы в целике, кг/м³;

$K_{р.к}$ – коэффициент разрыхления породы в ковше, принимается согласно [5].

Количество ковшей экскаватора (колесного погрузчик) по вместимости вагона

$$n_{к.в} = \frac{K_{ш} V_{г}}{V_k K_{н.к}}, \text{ шт} \quad (17)$$

где $V_{г}$ – геометрическая емкость кузова, м³;

$K_{ш}$ – коэффициент, учитывающий наполнения вагона с “шапкой”, согласно [4] принимается равным 1,0-1,1.

Количество ковшей экскаватора или колесного погрузчика, загружаемых по грузоподъемности вагона

$$n_{к.г} = \frac{m_n K_{п.к}}{V_k K_{н.к} \rho_{ц}}, \text{ шт} \quad (18)$$

где m_n – номинальная (паспортная) грузоподъемность вагона, т;

Из двух полученных значений $n_{к.в}$ и $n_{к.г}$ принимается меньшее, которое округляется до ближайшего меньшего целого и используется в дальнейших расчетах как n_k .

Допустимое по тяговому усилию привода ДКН количество вагонов в составе

$$z = \frac{m_{с.маx}}{m_{зр.ф}}, \text{ шт} \quad (19)$$

где m_o – масса порожнего вагона, т;

Фактическая грузоподъемность состава $m_{с.ф}$ в большинстве случаев меньше допустимой массы состава $m_{с.маx}$ ($m_{с.ф} \leq m_{с.маx}$).

Допустимое количество вагонов z округляется до ближайшего меньшего целого значения.

Время рейса T

$$T = t_d + \Theta, \text{ мин}, \quad (20)$$

где t_d – время движения ДКН на протяжении рейса, мин;

Θ – продолжительность конечных операций, мин.

Продолжительность конечных операций рассчитывается по формуле:

$$\Theta = t_{п} + t_{р} + t_{ож}, \text{ мин}, \quad (21)$$

где $t_{п}$ – время погрузки, мин;

$t_{р}$ – время разгрузки, мин;

$t_{ож}$ – время ожидания в пункте погрузки и разгрузки, мин.

Время погрузки состава ДКН экскаватором (колесным погрузчиком) составляет

$$t_{п} = z n_k T_u, \text{ мин}, \quad (22)$$

где T_u – время рабочего цикла экскаватора (колесного погрузчика), мин.

Время разгрузки вагонов при последовательном опрокидывании

$$t_{р} = z t_{р.в}, \text{ мин}, \quad (23)$$

где z – количество вагонов, мин;

$t_{р.в}$ – время разгрузки одного вагона, мин;

Согласно [2] время движения состава рассчитывают по формуле:

$$t_d = \frac{2L}{60K_c V_{маx}}, \text{ мин}, \quad (24)$$

где L – расстояние откатки в один конец, м;

V_{max} – максимальная скорость движения в грузовом и холостом направлениях, м/с;
 K_c – коэффициент снижения скорости, учитывающий периоды разгона и остановки, согласно [2] принимается равным 0,9.

Далее следует определить необходимую механическую мощность привода N_ϕ и сравнить ее с номинальной (паспортной) мощностью двигателя N_n , установленного на ДКН.

Фактически необходимая мощность приводного двигателя по нагреву [2]

$$N_\phi = \frac{F_\circ V_{max}}{10^3}, \text{ кВт} \quad (25)$$

где F_\circ – эквивалентное тяговое усилие привода канатной напочвенной дороги, Н.

Режим работы ДКН в карьере соответствует длительному циклическому, поэтому эквивалентное тяговое усилие привода за цикл транспортирования согласно [2, 6] составит

$$F_\circ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_{np.n.i}^2 t_{n.i}) + \sum_{i=1}^n (F_{np.cn.i}^2 t_{cn.i})}{\sum_{i=1}^n t_{n.i} + \sum_{i=1}^n t_{cn.i} + c\Theta}}, \text{ Н} \quad (26)$$

где $F_{np.n.i}$, $F_{np.cn.i}$ – тяговое усилие привода в данный момент времени t_i на i -ом участке трассы, соответственно при подъеме состава и его спуске, Н;

$t_{n.i}$, $t_{cn.i}$ – время действия тягового усилия привода на i -ом участке трассы, соответственно при подъеме состава и его спуске, мин.

c – коэффициент, учитывающий ухудшение охлаждения при остановке двигателей, согласно [2, 6] для двигателей с самовентиляцией принимают равным 0,25-0,35, для двигателей с независимой вентиляцией – 1.

При $N_\phi \leq N_n$ номинальной (паспортной) мощности выбранной установки достаточно для откатки полезного ископаемого с максимальной паспортной скоростью V_{max} наибольшей массы груза, допустимой по номинальному (паспортному) тяговому усилию привода канатной напочвенной дороги $F_{np.n}$.

При $N_\phi \geq N_n$ приводной двигатель будет перегреваться и установка не обеспечит необходимый грузопоток. Поэтому необходимо произвести расчет фактической скорости V_ϕ , при которой фактически необходимая мощность двигателя N_ϕ не превышает его номинальной (паспортной) мощности N_n .

Фактическая скорость движения составит

$$V_\phi = \frac{10^3 N_n}{F_\circ}, \text{ м/с} \quad (27)$$

где N_n – номинальная (паспортная) мощность привода предварительно выбранной установки, кВт.

Далее повторно выполняется расчет производительность канатных напочвенных дорог Q_m для скорости движения V_ϕ по формулам (14), (20), (24) и сравнивается с расчетным (максимальным) часовым грузопотоком карьера Q_p :

- если $Q_m \geq Q_p$, предварительно выбранная установка принимается к установке в карьере;
- если $Q_m < Q_p$, предварительно выбранная установка не подходит для условий данного карьера. В этом случае по зависимостям рис. 2 выбирается следующая более производительная установка и повторно проводится ее проверочный расчет.

Выводы. Разработана методология расчета параметров канатных напочвенных дорог для условий щебеночных карьеров с учетом особенностей их применения на открытых горных работах. Дальнейшие исследования необходимо проводить в направлении разработки прогрессивных транспортно-технологических схем, учитывающих все многообразие горно-

геологических условий щебеночных карьеров Украины, и обосновании технических параметров мощных ДКН для условий глубоких карьеров большой производительности.

Список литературы

1. Нормы технологического проектирования предприятий промышленности нерудных строительных материалов. – Л.: Стройиздат, 1977. – 368 с.
2. Транспорт на горных предприятиях: / [Авторы: Б.А. Кузнецов, А.А. Ренгевич, В.Г. Шорин и др.]. Под общей редакцией проф. Б.А. Кузнецова. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Недра, 1976. – 552 с.
3. Денищенко А. В. Шахтные канатные дороги: Монография / А. В. Денищенко. – Д.: НГУ, 2011. – 172 с.
4. Ренгевич О. О. Експлуатаційні розрахунки транспортних комплексів кар'єрів / О. О. Ренгевич, О. В. Денищенко. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2005. – 99с.
5. Единые нормы выработки на открытые горные работы для предприятий горнодобывающей промышленности. Часть 4. – М.: НИИтруда, 1989.
6. Біліченко М. Я. Основи теорії та розрахунки засобів транспортування вантажів шахт / М. Я. Біліченко, О.В. Денищенко. – Д.: Національний гірничий університет, 2008. – 103 с.